

小型FWDを用いた舗装の調査方法の検討

三田村 文寛¹

¹福井県工業技術センター 建設技術研究部 (〒918-8108福井県福井市春日3丁目303番)

メンテナンスの重要な時代となり、道路舗装も例外ではない。既に道路舗装は何回か修繕を繰り返しているが、舗装の劣化は全層に及んでおり、近年はFWDにより調査を行い修繕を行うようになった。FWDは、県内に保有車が皆無なので、県内では非常に高価であり、代わりに小型FWDを用いて調査を行う方法の研究を積み重ねてきた。舗装計測用小型FWDで載荷重錘を25kgfに増やし、変位センサを載荷位置からの距離に応じて2回に分けて設置する方法で測定を行った。小型FWDの測定結果とFWDの計測結果との関連性をみた結果、完全な相関を得ることができ小型FWDにより舗装調査を行うことが可能と思われる。

キーワード 舗装の修繕、小型FWD、FWDとの相関

1. はじめに

高度成長時代を経て大量にストックされたインフラストラクチャの老朽化が進み、メンテナンスの時代を向えて久しいが、道路舗装についても例外ではない。道路舗装、特にアスファルト舗装は設計期間が短く、既に通常は何度かの修繕を繰り返している。最初の頃は路面性能の回復を重点的に表層のみの修繕を繰り返してきたが、舗装の劣化は徐々に路盤や路床へと全層に及び、近年はアセットマネジメントを考慮し、車載型FWD(Falling Weight Deflectomete, 以降、FWDと称する)による調査を行い、全層を対象として、適切な維持修繕を行うため、構造上必要な性能をも満足するように修繕を行うようになってきた。しかし、FWDはコストが非常に高価で全国的にも台数が50台程度と少なく、福井県は民間を含めて1台もないため調査費用も高価になる。そのため著者は、FWDの代わりに小型FWDを用いて調査を行う方法の研

究を積み重ねて来た。FWDに代わりに小型FWDを用いて調査を行う方法について実用のめどが立ったので報告する。

2. 現状の小型FWDシステムと課題

現在用いている小型FWDシステムは荷重計と加速度計を内蔵した本体と表示器からなり、内蔵の加速度計以外に外部変位センサ(加速度計)を4台設置が可能である(写真-1参照)。小型FWDの載荷荷重(5~15kgf)はFWDに比べて小さいため、主に比較的薄い舗装を対象に用いられており、舗装厚60cmまでが測定対象であるといわれている(メーカー聞き取り)。¹⁾また、載荷の際に載荷板が振動することで載荷点下のたわみが他点のたわみと比較して相対的に大きくなるという課題があった。

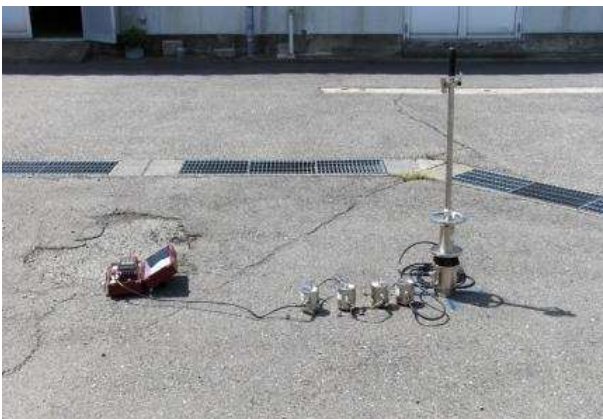


写真-1 現状の小型FWDシステム

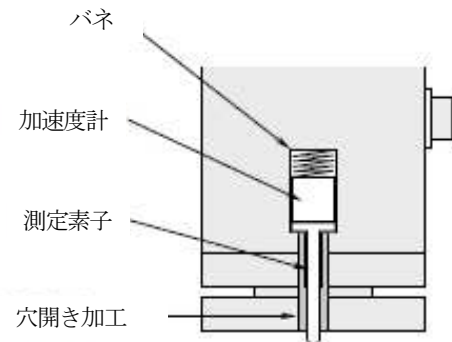


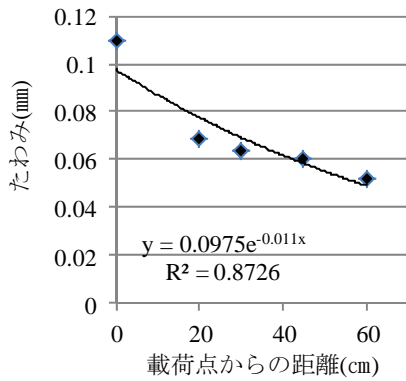
図-1 小型FWDの改良

表-1 地盤計測用計測結果

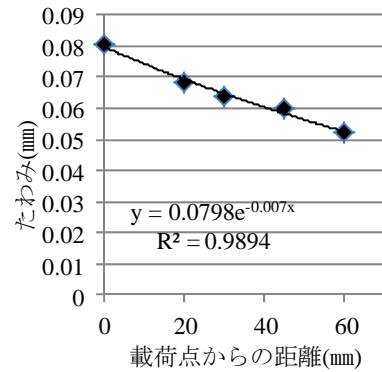
測点	載荷重 (N)	D0 (mm)	D20 (mm)	D30 (mm)	D45 (mm)	D60 (mm)
No0	17,328	0.110	0.068	0.064	0.060	0.052
No1	17,029	0.332	0.165	0.136	0.103	0.073
No2	17,075	0.347	0.189	0.152	0.121	0.087
No3	16,931	0.495	0.248	0.185	0.127	0.085
No4	18,067	0.333	0.202	0.164	0.121	0.087
No5	17,432	0.519	0.322	0.269	0.067	0.055
No6	17,505	0.386	0.203	0.168	0.136	0.096
No7	17,528	0.393	0.187	0.152	0.122	0.094
No8	17,539	0.541	0.232	0.177	0.135	0.093
No9	17,774	0.225	0.131	0.118	0.109	0.096

表-2 舗装計測用計測結果

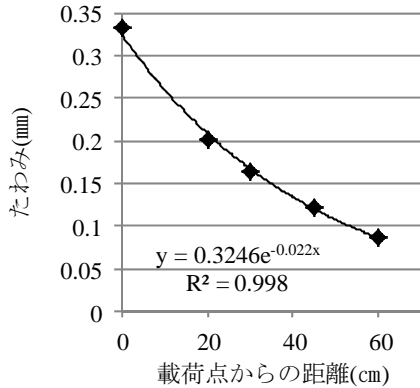
測点	載荷重 (N)	D0 (mm)	D20 (mm)	D30 (mm)	D45 (mm)	D60 (mm)
No0	17,511	0.081	0.069	0.064	0.060	0.052
No1	17,166	0.220	0.166	0.135	0.103	0.073
No2	17,150	0.278	0.188	0.152	0.121	0.087
No3	17,962	0.356	0.248	0.185	0.127	0.086
No4	18,081	0.293	0.202	0.165	0.122	0.087
No5	17,748	0.343	0.322	0.269	0.067	0.055
No6	17,736	0.246	0.203	0.168	0.137	0.097
No7	17,499	0.222	0.187	0.152	0.122	0.094
No8	17,886	0.291	0.232	0.177	0.135	0.093
No9	17,788	0.153	0.131	0.118	0.109	0.096



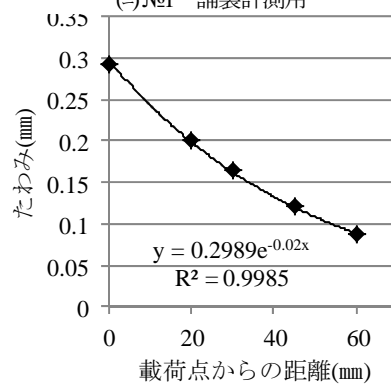
(a) No1 地盤計測用



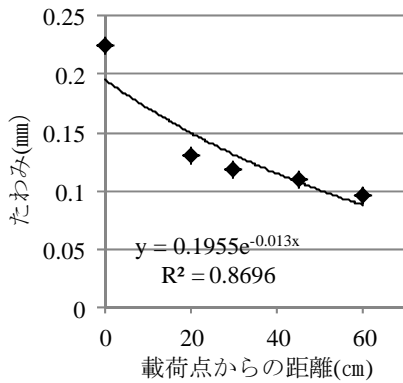
(b) No1 舗装計測用



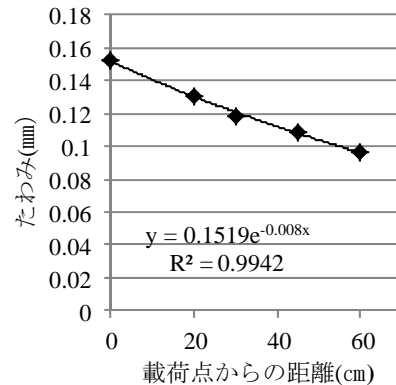
(c) No4 地盤計測用



(d) No4 舗装計測用



(e) No9 地盤計測用



(f) No9 舗装計測用

図-2 載荷点からの距離とたわみ量

3. 舗装計測用の小型FWD本体

従前の小型FWDでは、載荷の際に載荷板が振動することで載荷点直下のたわみが大きくなる。このことを改善するために小型FWD本体の載荷板を開口し、加速度計の測定素子を載荷板から突出して載荷の際に起こる載荷板の振動が加速度計に直接伝わらないように、舗装計測用に改良されたものがある。同じ場所で、舗装計測用と従前のもの(以降、地盤計測用と称する)を用いて測定を行った。結果を表-1, 2に示す。№1,4,9については、載荷点からの距離とたわみの関係を図-2に示す。

4. 舗装計測用と地盤計測用の小型FWD測定値の比較

敷地内に2.0m間隔で10測点設置し、舗装計測用と地盤計測用の小型FWDの測定値の比較を行った。載荷点からセンサまでの距離は0, 20, 30, 45, 60cm(以下ではD0, D20, D30, D45, D60と称する)とした。舗装厚150cmへの対応を見越して、載荷荷重を25kgfに増量した。各測定値の載荷点から計測点までの距離とたわみ値の関係をみるためなので、載荷荷重の補正、温度補正は行っていない。

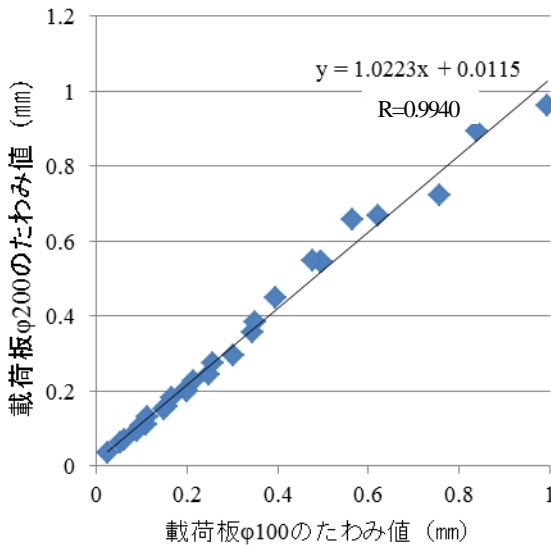


図-3 載荷板の違いと測定値

ない。近似曲線は指数曲線が良く合うので用いた。測定結果を表-3, №0, №4, №9におけるたわみと載荷点からの距離の関係は図-2に示す。舗装計測用と地盤計測用の小型FWDの測定値を測点ごとに比較すると、地盤計測用では、舗装計測用と比較して№0と№9はD0がD20~D60に比べて大きな値を示し、それにともない相関が弱くなっている。№4は、相関係数はほぼ同じであるが、D20~D60がほぼ同じ値であるのに対し、D0は若干ではあるが大きくなっている。したがって、舗装計測用は、載荷点下のたわみが他点のたわみと比較して相対的に大きくなるという前述の課題に対応できている。

5. 小型FWDの載荷板の検討

小型FWDの載荷板は地盤を測定し、K値(支持力係数)を算出する場合は、載荷板の直径は最低でも地盤材料の3倍以上とすることが望ましい^りとある。舗装の測定の場合の基準はないが、載荷荷重を25kgfにしたことにより、載荷板がφ100の場合、重錘を上げた状態の時に重心が上部に偏り転倒しやすくなり測定がやり辛く作業性が悪い。作業性を改善するために載荷板をφ200に取り換えて測定を行い、測定値に影響があるか否か検証を行った。前述の測点の内、№1, №4, №7でD0, D20, D30, D45, D60, D75, D90, D120, D150を比較した。載荷荷重の補正と温度補正を行って比較した。路面温度は現地で測定、気温は当地から400.0m北の福井気象台の観測値を用いた。結果を表-3, 図-3に示す。載荷板がφ100の場合とφ200の場合の測定値は、相関係数R=0.994となり完全な相関であるので、載荷板を変更しても測定値に影響がないことが確認された。

6. 小型FWDとFWDの測定値の相関

小型FWDによる測定を実用化するために、現在信頼して舗装の調査に用いられているFWDと同一箇所を測定して相関をみた。前述と同様に敷地内に2.0m間隔で10測点設置して測定を行った。FWD(写真-1参照)は同時にD0, D20, D30, D45, D60, D75, D90, D120, D150,

表-3 載荷板の違いと測定値

(単位: mm)

	D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
№1	0.756	0.494	0.395	0.301	0.198	0.109	0.089	0.089	0.053
	0.723	0.544	0.450	0.297	0.202	0.151	0.112	0.093	0.062
№4	0.995	0.621	0.498	0.345	0.249	0.199	0.156	0.098	0.026
	0.961	0.669	0.544	0.358	0.243	0.200	0.158	0.106	0.036
№7	0.840	0.565	0.476	0.350	0.257	0.213	0.165	0.112	0.061
	0.893	0.659	0.548	0.384	0.274	0.226	0.183	0.131	0.069

上段: 載荷板φ100 下段: 載荷板φ200

D200と9点測定できる。小型FWDは、舗装計測用を用いる内蔵センサで測定するD0と合わせて5点までしか同時に測定できない。そこで2回に分けて測定する方法を試みた。1回目はD0, D20, D30, D45, D60を測定し(写真-2参照)2回目はセンサを移動してD0, D75, D90, D120, D150を測定する(写真-3参照)。小型FWD, FWDほぼ同時期に各2回ずつ測定をおこなった(表-4参照)。今回は載荷荷重の補正と温度補正は行う。FWDは路面温度、気温とも現地で測定した値を用いたが、小型FWDは前述同様、路面温度は現地、気温は福井気象台の値を用いた。小型FWDは、D0が2個の測定値があるのでそれぞれの値を載荷荷重の補正と温度補正を行った後、平均値を用いた。結果は表-5、小型FWDとFWDの相関は図-4に示す。相関係数 $R=0.987$ で完全な相関があることが明らかになった。小型FWDは載荷荷重が小さいので、載荷点からセンサまでの距離が大きくなるほどばらつきが大きくなると考えられる。そこで、D75~D150の相関は図-5に示す。相関係数 $R=0.921$ となりほぼ完全な相関があったが、D0~D150と比較してFWDとの相関が弱くなることから測点間隔をFWDの半分にすることや、交通規制が簡単なことを活かして道路幅員の比較的狭い道路を中心に行うことが望ましいと思われる。

7. 結論

舗装の維持管理のために調査に多用されているFWDに代わりに、小型FWDを用いて行う方法を研究した。得られた知見を以下に述べる。

(1)D0の値がD20, D30, D45, D60, D75, D90, D120, D150に比べて相対的に大きいことは、測定素子が載荷

表-4 FWD, 小型FWDの測定日

種類	測定日	
	1回目	2回目
FWD	2015.6.17	2017.5.31
小型FWD	〃	2017.5.29



写真-1 車載型FWD

板から突出した舗装計測用の小型FWDを用いることで載荷点下のたわみが他点のたわみと比較して相対的に大きくなるという課題に対応できている。

(2)載荷板の大きさをφ100からφ200に変えても測定値は変わらないことが分かった。

(3)小型FWDとFWDの測定値の相関係数 $R=0.987$ となり完全な相関があった。

(4)D75~D150に限定しても、小型FWDとFWDの測定値の相関係数 $R=0.921$ となりほぼ完全な相関があった。

小型FWDを用いた舗装調査方法は実用上問題ないと思われる。しかし、D75~D150に限定すると、D0~D150と比較して、小型FWDとFWDの測定値の相関が弱くなるため、1)測点間隔をFWDの半分にする、2)交通規制が簡単なことから道路幅員の比較的狭い道路を中心に行うことが望ましいと思われる。

謝辞：本研究を進めるに当たり、FWDに協力していただいた(株)レインボー・コンサルタント森社長他社員の皆様、また小型FWDについて多大な御指導と御協力をいただいた(株)東京測器研究所河野課長に感謝の意を表す。

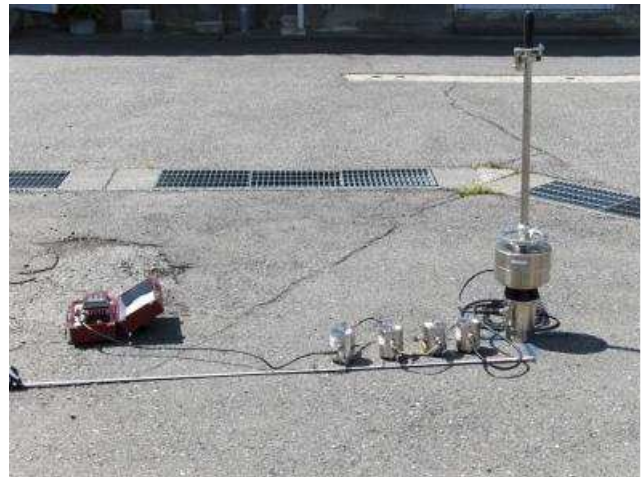


写真-2 小型FWD(1回目)

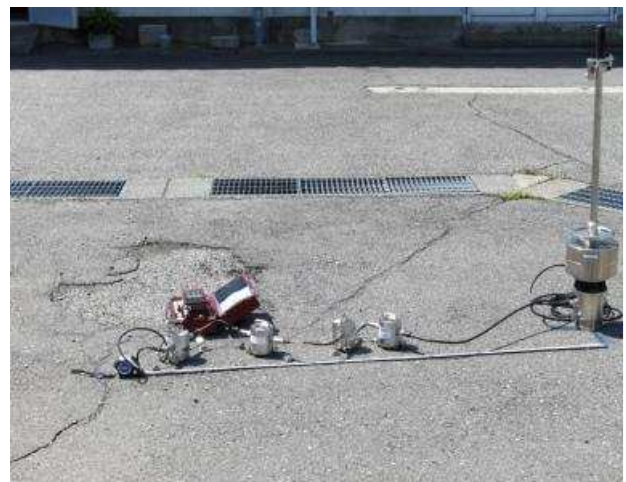


写真-3 小型FWD(2回目)

表-5 小型FWDとFWDの測定値

(単位: mm)

	D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150
№0	0.396	0.379	0.365	0.341	0.294	0.270	0.254	0.203	0.147
	0.253	0.211	0.195	0.186	0.158	0.152	0.145	0.118	0.075
№1	0.908	0.787	0.620	0.454	0.350	0.298	0.236	0.182	0.142
	0.722	0.491	0.393	0.305	0.207	0.148	0.118	0.086	0.055
№2	0.963	0.779	0.673	0.525	0.415	0.342	0.277	0.209	0.163
	0.767	0.515	0.420	0.333	0.230	0.148	0.148	0.093	0.055
№3	1.189	0.873	0.697	0.491	0.356	0.236	0.226	0.181	0.148
	0.953	0.583	0.470	0.342	0.237	0.199	0.147	0.098	0.048
№4	1.220	0.943	0.776	0.569	0.435	0.349	0.283	0.218	0.168
	1.066	0.628	0.493	0.354	0.245	0.158	0.155	0.101	0.057
№5	1.189	0.873	0.697	0.491	0.356	0.236	0.226	0.181	0.148
	1.146	0.722	0.560	0.365	0.279	0.199	0.180	0.107	0.038
№6	1.265	1.050	0.897	0.678	0.498	0.417	0.311	0.229	0.180
	1.092	0.750	0.607	0.377	0.296	0.242	0.196	0.113	0.043
№7	1.138	0.926	0.792	0.602	0.469	0.387	0.312	0.228	0.177
	0.882	0.628	0.520	0.396	0.290	0.234	0.184	0.108	0.046
№8	1.226	0.950	0.779	0.567	0.421	0.323	0.264	0.194	0.150
	0.944	0.622	0.504	0.370	0.268	0.213	0.171	0.104	0.064
№9	0.490	0.471	0.457	0.416	0.375	0.338	0.297	0.231	0.169
	0.974	0.544	0.436	0.362	0.290	0.215	0.188	0.122	0.077

上段: FWDの測定値 下段: 小型FWDの測定値

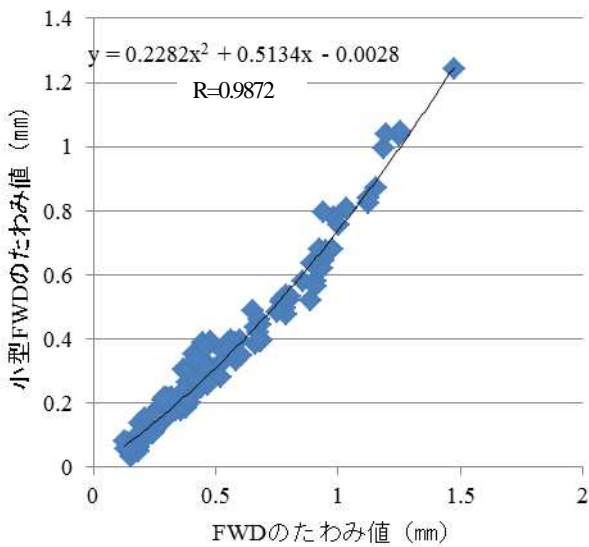


図-4 49kNのFWDと49kN換算のたわみの相関

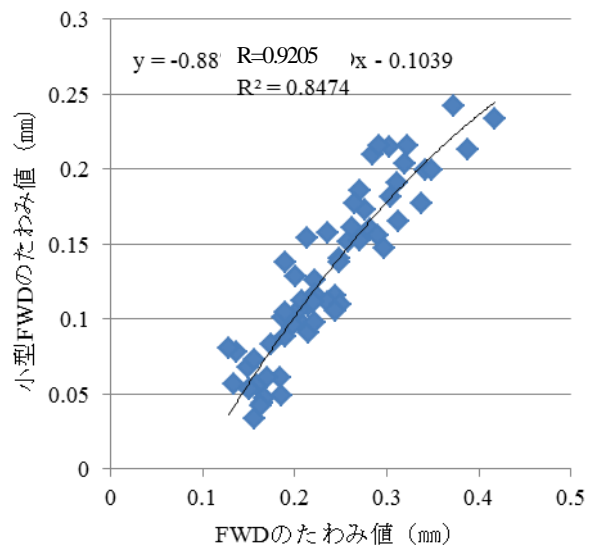


図-5 49kNのFWDと49kN換算のたわみの相関(D75~D150)

参考文献

- 1)FWDおよび小型FWD運用の手引き(2002,.10,土木学会舗装工学会)